



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift DE 196 55 008 A 1

21 Aktenzeichen: 196 55 008.4  
22 Anmeldetag: 21. 12. 1996  
43 Offenlegungstag: 6. 12. 2001

51 Int. Cl. 7:  
**A 61 B 19/00**  
A 61 B 17/00  
A 61 G 13/10  
B 25 J 9/16

DE 196 55 008 A 1

71 Anmelder:  
Depuy International Ltd., Beeston, Leeds, GB  
74 Vertreter:  
Andrejewski und Kollegen, 45127 Essen

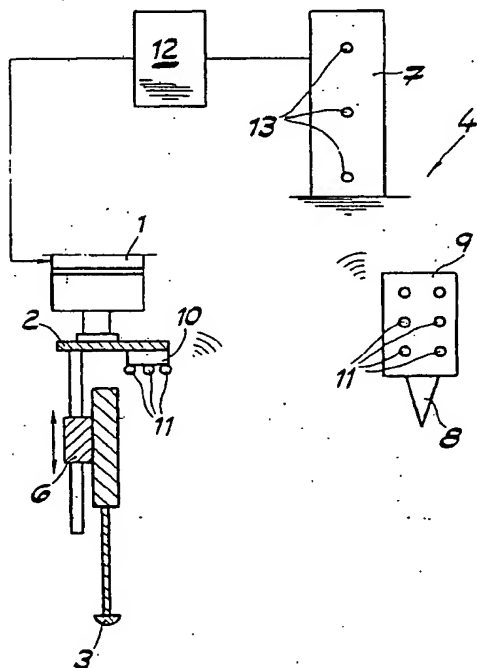
62 Teil aus: 196 53 966.8  
72 Erfinder:  
Wahrburg, Jürgen, Dr.-Ing., 51709 Marienheide, DE  
56 Entgegenhaltungen:  
EP 03 12 119 A2  
HENKE, R.: "Robodoc", m: VDI-Nachrichten Nr. 30,  
29.7.94;  
Infografik 1991, Oktober, S. 20, 21;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung zum Positionieren und Führen eines chirurgischen Werkzeuges bei orthopädischen Eingriffen

57 Vorrichtung zum Positionieren und Führen eines chirurgischen Werkzeuges bei orthopädischen Eingriffen, mit einem Industrieroboter, der einen Roboterarm mit endseitiger Montageplatte aufweist, einem an der Montageplatte gehaltenen Werkzeug und einer Programmsteuerung mit Rechner. In den Gelenken des Roboterarmes sind Sensoren zur Erfassung der Gelenkstellung in einem in der Programmsteuerung definierten Werkzeug-Koordinatensystem angeordnet. Der Roboterarm ist mittels der Programmsteuerung in eine Arbeitsposition für den chirurgischen Eingriff bewegbar. Eine manuell fuhrbare Sensoreinrichtung für eine dreidimensionale Objektvermessung ist vorgesehen. Mit der Sensoreinrichtung sind Referenzpunkte an Knochen des Patienten abtastbar. Die Sensoreinrichtung besteht aus einer Meßanordnung mit Datenfernübertragung, die einen stationären Empfänger, einen Taststift mit einem ersten Sender sowie einen an der Montageplatte angeordneten zweiten Sender aufweist. Die Sender weisen mehrere Signalgeber in einer fest vorgegebenen räumlichen Zuordnung auf, die von dem Empfänger aufgenommene Ortungssignale abgeben. Aus den Ortungssignalen wird die Position und Ausrichtung des Taststiftes sowie der Montageplatte in einem Koordinatensystem ermittelt. Die ermittelten Raumkoordinaten sind dem Rechner zufuhrbar, der die Raumkoordinaten des Taststiftes in die Koordinaten des Werkzeug-Koordinatensystems transformiert. Der Rechner ermittelt aus den auf das Werkzeug-Koordinatensystem bezogenen ...



DE 196 55 008 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Positionieren und Führen eines chirurgischen Werkzeuges bei orthopädischen Eingriffen, mit einem Industrieroboter, der einen programmgesteuerten, mehrgelenkigen Roboterarm mit endseitiger Montageplatte aufweist,

einem an der Montageplatte gehaltenen Werkzeug für den orthopädischen Eingriff und einer Programmsteuerung mit Rechner, wobei in den Gelenken des Roboterarmes Sensoren zur Erfassung der Gelenkstellung in einem in der Programmsteuerung definierten Werkzeug-Koordinatensystem angeordnet sind und wobei der Roboterarm mittels der Programmsteuerung in eine Arbeitsposition für den chirurgischen Eingriff bewegbar ist.

[0002] Eine Vorrichtung mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen ist aus VDI-Nachrichten, Ausgabe 29. Juli 1994, bekannt und wird bei Hüftoperationen eingesetzt. Vor der Operation werden dem Patienten zunächst drei Schrauben am Knie und am Oberschenkelknochen eingepflanzt. Die Schrauben haben eine kleine Vertiefung, in die der Kopf eines am Roboterarm angeordneten Fühlers paßt. Eine ebenfalls präoperativ durchgeführte Computertomographie liefert für die Programmsteuerung erforderliche Patientendaten. Während des chirurgischen Eingriffs ist der Oberschenkel des Patienten in einen sterilen, mit dem Fuß des Industrieroboters starr verbundenen Haltearm eingespannt. Ein an den Knochen angelegter Meßarm erfaßt etwaige Lageänderungen. Zunächst führt der Chirurg den Roboterarm mit seinem endseitigen Fühler an die durch die Vertiefung der Schrauben vorgegebenen Referenzpunkte, deren Koordinaten mit den Daten der Computertomographie verglichen werden. Aus den Daten ermittelt der Rechner dann die Arbeitsposition des Roboterarmes für den chirurgischen Eingriff. Ist die Arbeitsposition ermittelt, wird der Fühler durch ein Werkzeug ersetzt und der Oberschenkelchaft bei entsprechender Vorschubbewegung des Roboterarmes programmgesteuert gefräst. Anschließend kann der Chirurg eine vorher ausgewählte Prothese einsetzen.

[0003] Die Anwendung der bekannten Vorrichtung erfordert umfangreiche präoperative Planungen unter Einsatz von Computertomographen, die nicht nur aufwendig sind, sondern auch die Operationszeit insgesamt in störendem Maße verlängern. Nachteilig ist ferner, daß der Chirurg keine Möglichkeit hat, auf den programmgesteuerten Ablauf der Operation Einfluß zu nehmen. Bei Lageänderungen des Knochen und/oder bei Nichteinhaltung vorgegebener Toleranzen unterbricht die Vorrichtung aus Sicherheitsgründen sofort ihre Arbeit.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art so weiter auszubilden, daß die Vorrichtung intraoperativ einsetzbar ist und der Chirurg auf die Operation Einfluß nehmen kann.

[0005] Zur Lösung dieser Aufgabe lehrt die Erfindung eine Vorrichtung zum Positionieren und Führen eines chirurgischen Werkzeuges bei orthopädischen Eingriffen, - mit einem Industrieroboter, der einen programmgesteuerten, mehrgelenkigen Roboterarm mit endseitiger Montageplatte aufweist,

einem an der Montageplatte gehaltenen Werkzeug für den orthopädischen Eingriff und einer Programmsteuerung mit Rechner, wobei in den Gelenken des Roboterarmes Sensoren zur Erfassung der Gelenkstellung in einem in der Programmsteuerung definierten Werkzeug-Koordinatensystem angeordnet sind und wobei der Roboterarm mittels der Programmsteuerung

in eine Arbeitsposition für den chirurgischen Eingriff bewegbar ist,

wobei eine manuell fuhrbare Sensoreinrichtung für eine dreidimensionale Objektvermessung vorgesehen ist, wobei mittels der Sensoreinrichtung bei einer von der Programmsteuerung vorgegebenen und vorher angefahrenen Grundstellung des Roboterarmes Referenzpunkte an Knochen des Patienten abtastbar sind,

wobei die Sensoreinrichtung aus einer Meßanordnung mit Datenfernübertragung besteht, die einen stationären Empfänger, einen Taststift mit einem ersten Sender sowie einen an der Montageplatte angeordneten zweiten Sender aufweist,

wobei die Sender mehrere Signalgeber in einer fest vorgegebenen räumlichen Zuordnung aufweisen, die von dem Empfänger aufgenommene Ortungssignale abgeben, wobei aus den Ortungssignalen die Position und Ausrichtung des Taststiftes sowie der Montageplatte in einem raumfesten, dreidimensionalen Koordinatensystem ermittelt werden, und wobei die ermittelten Raumkoordinaten des Taststiftes sowie der Montageplatte dem Rechner zuführbar sind, der die Raumkoordinaten des Taststiftes in die Koordinaten des Werkzeug-Koordinatensystems transformiert, und wobei der Rechner aus den auf das Werkzeug-Koordinatensystem bezogenen Koordinaten der Referenzpunkte die Arbeitsposition des Roboterarmes ermittelt. - Es ist von erfindungswesentlicher Bedeutung, daß durch eine Kopplung zwischen Sensoreinrichtung und Roboterarm die Koordinaten der Referenzpunkte in dem Werkzeug-Koordinatensystem des Industrieroboters ermittelt werden, welches in der Programmsteuerung definiert ist.

[0006] Die Sensoreinrichtung ermöglicht es, eine für die Errechnung der Arbeitsposition des Roboterarmes ausreichende Anzahl gut identifizierbarer Referenzpunkte an den von dem chirurgischen Eingriff betroffenen Knochen zu erfassen. Während der Aufnahme dieser Referenzpunkte bleibt der Roboterarm in der zuvor angefahrenen, bekannten Grundstellung stehen. Mit den Koordinaten der Grundstellung und den Koordinaten der Referenzpunkte kann die Arbeitsposition, die der Roboterarm anschließend während des chirurgischen Eingriffs einnimmt, exakt errechnet werden. Abhängig von der Art des chirurgischen Eingriffs wird eine einzige Arbeitsposition oder eine Abfolge von Arbeitspositionen ermittelt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht, eine intraoperative Anwendung. Präoperative Planungen beispielsweise auf Basis von Röntgenaufnahmen oder Computertomogrammen sind prinzipiell nicht erforderlich. Ferner kann die Programmsteuerung so eingerichtet werden, daß der Chirurg während der Operation an Knochen, die im Zuge der Operation freigelegt werden, mit Hilfe der Sensoreinrichtung weitere charakteristische Punkte erfaßt, die dann zur Korrektur der Arbeitsposition des Roboterarmes und/oder zur Festlegung einer Abfolge von Arbeitspositionen, die der Roboterarm bei fortschreitender Operation nacheinander einnimmt, verarbeitet werden.

[0007] Bezüglich der Ausführung der Sensoreinrichtung wird erfindungsgemäß ein dreidimensionales Lokalisierungssystem eingesetzt, das eine Ortung von Gegenständen durch die Wechselwirkung von Sender/Empfängerelementen durchführt. Solche Systeme sind im Prinzip bekannt und können auf optischen, induktiven oder Ultraschallverfahren basieren. Erfindungsgemäß besteht die Sensoreinrichtung aus einer Meßanordnung mit Datenfernübertragung, die einen stationären Empfänger, einen Taststift mit einem ersten Sender sowie einen an der Montageplatte angeordneten zweiten Sender aufweist, wobei die Sender mehrere Signalgeber in einer fest vorgegebenen räumlichen Zuordnung aufweisen, die von dem Empfänger aufgenommene Or-

tungssignale abgeben, wobei aus den Ortungssignalen die Position und Ausrichtung des Taststiftes sowie der Montageplatte in einem raumfesten, dreidimensionalen Koordinatensystem ermittelt werden und wobei die ermittelten Raumkoordinaten des Taststiftes sowie der Montageplatte dem Rechner zuführbar sind, der die Raumkoordinaten des Taststiftes in die Koordinaten des Werkzeug-Koordinatensystems transformiert.

[0008] Grundsätzlich ist es bekannt (Infografik 1991, Oktober, Seiten 20, 21) mit Hilfe eines Taststiftes Oberflächpunkte eines Werkstückes zu ertasten und zugeordnete Koordinaten zu ermitteln. Nach Digitalisierung der entsprechenden Werte kann das Werkstück mit Hilfe eines Rechners auf einem Bildschirm dreidimensional dargestellt werden. Mit der Ermittlung von Arbeitspositionen eines Roboterarmes, der zum Positionieren und Führen eines chirurgischen Werkzeuges bei orthopädischen Eingriffen eingesetzt wird, hat diese Technologie jedoch nichts zu tun.

[0009] Im Rahmen der Erfindung liegt es, daß der Rechner aus den Koordinaten der mit dem Lokalisierungssystem aufgenommenen Referenzpunkte ein ablauffähiges Roboterprogramm entwickelt, das in die Programmsteuerung überspielt wird, wobei die Knochenbearbeitung programmgesteuert durch eine Bewegung des Roboterarmes erfolgt. Gemäß einer bevorzugten Ausführung der Erfindung ist das Werkzeug für den chirurgischen Eingriff jedoch auf einem an der Montageplatte befestigten, vorzugsweise orthogonal zur Montageplatte ausgerichteten Schlitten axial beweglich geführt. Bei dieser Ausführung der Erfindung ist die Vorschubbewegung des chirurgischen Werkzeuges manuell oder durch einen motorischen Vorschubantrieb unabhängig von der Bewegung des Roboterarmes durch den Chirurgen ausführbar, nachdem das chirurgische Werkzeug durch die erfindungsgemäße Vorrichtung in eine für die Operation optimale Lage und optimale Ausrichtung gebracht worden ist. Diese Ausführung der Erfindung ermöglicht eine kurze Operationszeit, wobei die auszuführenden Schnitte nichtstetoweniger sehr präzise ausgeführt werden können, weil das Werkzeug mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung optimal gehalten und geführt wird.

[0010] In weiterer Ausgestaltung lehrt die Erfindung, daß die Vorrichtung eine zusätzliche Überwachungseinrichtung zur Erfassung der räumlichen Position des Patienten während der Operation aufweist. Bei dem erfindungsgemäßen Einsatz einer Sensoreinrichtung mit Sender- und Empfänger-elementen weist die Überwachungseinrichtung vorzugsweise mindestens einen Referenzstift auf, der vor dem chirurgischen Eingriff an dem betreffenden Knochen des Patienten befestigbar ist und mit einem dritten Sender ausgerüstet ist, wobei der Sender des Referenzstiftes in entsprechender Weise wie der Taststift mit mehreren Signalgebern ausgerüstet ist, die von dem Empfänger aufgenommene Ortungssignale abgeben. Der Knochen kann exakt geortet und seine Position genau berechnet werden. Bei einer Lageänderung des Knochens erfolgt eine automatische Positionskorrektur des Roboterarmes und des an dem Roboterarm angeschlossenen chirurgischen Werkzeuges, wobei ggf. eine Freigabe durch den Chirurgen erfolgen muß.

[0011] Im folgenden wird die Erfindung anhand einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung erläutert. Die einzige Zeichnung zeigt schematisch eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0012] Zum grundsätzlichen Aufbau der Vorrichtung gehören ein Industrieroboter, der einen programmgesteuerten, mehrgelenkigen Roboterarm 1 mit endseitiger Montageplatte 2 aufweist, sowie eine Programmsteuerung mit Rechner 12. In den Gelenken des Roboterarmes 1 sind Sensoren zur Erfassung der Gelenkstellung angeordnet. Mittels der

Programmsteuerung ist der Roboterarm 1 in eine Arbeitsposition für den chirurgischen Eingriff bewegbar.

[0013] In der einzigen Figur ist nur das freie Ende des Roboterarmes 1 dargestellt. Er weist eine endseitige Montageplatte 2 auf, an der ein Werkzeug 3 für den orthopädischen Eingriff angeschlossen ist. Der Figur entnimmt man, daß das Werkzeug 3 auf einem an der Montageplatte 2 befestigten Schlitten 6 axial beweglich geführt ist. Der Schlitten 6 ist orthogonal zur Montageplatte 2 angeordnet. Die Vorschubbewegung des Werkzeuges 3 ist manuell oder durch einen motorischen Vorschubantrieb unabhängig von der Bewegung des Roboterarmes 1 ausführbar.

[0014] Die in der Figur dargestellte erfindungsgemäße Vorrichtung, weist eine manuell führbare Sensoreinrichtung für eine dreidimensionale Objektvermessung in dem Werkzeug-Koordinatensystem des Roboterarmes auf, die aus einer Meßanordnung 4' mit Datenfernübertragung besteht. Sie umfaßt einen stationären Empfänger 7, einen Taststift 8 mit einem ersten Sender 9 sowie einen an der Montageplatte 2 angeordneten zweiten Sender 10. Die Sender 9, 10 weisen mehrere Signalgeber 11 in einer fest vorgegebenen räumlichen Zuordnung auf, die von dem Empfänger 7 aufgenommene Ortungssignale abgeben. Aus den Ortungssignalen wird die Position und Ausrichtung des Taststiftes 8 sowie der Montageplatte 2 in einem raumfesten, dreidimensionalen Koordinatensystem ermittelt. Die ermittelten Raumkoordinaten des Taststiftes 8 sowie der Montageplatte 2 sind dem Rechner 12 zuführbar, und dieser transformiert die Raumkoordinaten des Taststiftes in die Koordinaten eines Werkzeug-Koordinatensystems, das der Programmsteuerung zugrundeliegt.

[0015] Lokalisierungssysteme, die eine Meßanordnung mit Datenfernübertragung aufweisen, sind im Prinzip bekannt und können auf optischen, induktiven oder Ultraschallverfahren basieren. Der Taststift weist beispielsweise eine kleine Platte auf, in deren Eckpunkte vier oder sechs Infrarot-Leuchtdioden 11 als Signalgeber angeordnet sind. Die von diesen ausgesendeten Lichtimpulse werden von dem stationär im Raum angeordneten Empfänger 7 erfaßt, der über drei separate Empfangselemente 13, bestehend aus Optiken und lichtempfindlichen Sensoren, verfügt. Unter Ausnutzung der genau bekannten geometrischen Anordnung der Sende- sowie der Empfangselemente 11, 13 kann durch mathematische Auswertung aller Empfangssignale die Position und Orientierung des Taststiftes 8 in dem raumfesten Koordinatensystem errechnet werden. Erfindungsgemäß ist auch an der Montageplatte 2 des Roboterarmes 1 eine entsprechende kleine Platte 10 mit Sendeelementen 11 befestigt. Auf diese Weise werden sowohl der Taststift 8 als auch die Montageplatte 2 geortet, so daß durch mathematische Umrechnungen die Raumkoordinaten der mit dem Taststift ertasteten Referenzpunkten am Knochen in das der Programmsteuerung zugrundeliegende Werkzeug-Koordinatensystem des Industrieroboters transformiert werden können.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Positionieren und Führen eines chirurgischen Werkzeuges bei orthopädischen Eingriffen, - mit einem Industrieroboter, der einen programmgesteuerten, mehrgelenkigen Roboterarm mit endseitiger Montageplatte aufweist, einem an der Montageplatte gehaltenen Werkzeug für den orthopädischen Eingriff und einer Programmsteuerung mit Rechner, wobei in den Gelenken des Roboterarmes Sensoren zur Erfassung der Gelenkstellung in einem in der Pro-

grammsteuerung definierten Werkzeug-Koordinatensystem angeordnet sind und wobei der Roboterarm mittels der Programmsteuerung in eine Arbeitsposition für den chirurgischen Eingriff bewegbar ist, wobei eine manuell fuhrbare Sensoreinrichtung (4, 4') für eine dreidimensionale Objektvermessung vorgesehen ist, wobei mittels der Sensoreinrichtung (4, 4') bei einer von der Programmsteuerung vorgegebenen und vorher angefahrenen Grundstellung des Roboterarmes (1) Referenzpunkte an Knochen des Patienten abtastbar sind, wobei die Sensoreinrichtung aus einer Meßanordnung mit Datenfernübertragung besteht, die einen stationären Empfänger, einen Taststift mit einem ersten Sender sowie einen an der Montageplatte angeordneten zweiten Sender aufweist, wobei die Sender mehrere Signalgeber in einer fest vorgegebenen räumlichen Zuordnung aufweisen, die von dem Empfänger aufgenommene Ortungssignale abgeben, wobei aus den Ortungssignalen die Position und Ausrichtung des Taststiftes sowie der Montageplatte in einem raumfesten, dreidimensionalen Koordinatensystem ermittelt werden, und wobei die ermittelten Raumkoordinaten des Taststiftes sowie der Montageplatte dem Rechner zuführbar sind, der die Raumkoordinaten des Taststiftes in die Koordinaten des Werkzeug-Koordinatensystems transformiert, wobei der Rechner (12) aus den auf das Werkzeug-Koordinatensystem bezogenen Koordinaten der Referenzpunkte die Arbeitsposition des Roboterarmes (1) ermittelt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine zusätzliche Überwachungseinrichtung zur Erfassung der räumlichen Position des Patienten während der Operation mit mindestens einem Referenzstift vorgesehen ist, welcher Referenzstift vor dem chirurgischen Eingriff an dem betreffenden Knochen des Patienten befestigbar ist und mit einem dritten Sender ausgerüstet ist, wobei der ebenfalls mit mehreren Signalgebern ausgerüstete Sender des Referenzstiftes von dem Empfänger aufgenommene Ortungssignale abgibt.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das Werkzeug (3) auf einem an der Montageplatte (2) befestigten Schlitten axial beweglich geführt ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei der Schlitten (6) in einem festen Winkel, bevorzugt orthogonal zur Montageplatte (2) angeordnet ist.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

50

55

60

65

- Leerseite -

